

DIP : Analyse des Performances

Performances thermiques

Comment caractériser les performances thermiques d'un système ?

- Données et objectifs.
- Modèles élémentaires.
- Modélisation thermique de systèmes.

DIP : Analyse des Performances

Performances thermiques

Données et objectifs:

Paramètres donnés:

- ↳ Puissance dissipée par la source.
- ↳ Dimensions et propriétés physiques du système.
- ↳ Températures de référence (Air ambiant, support).

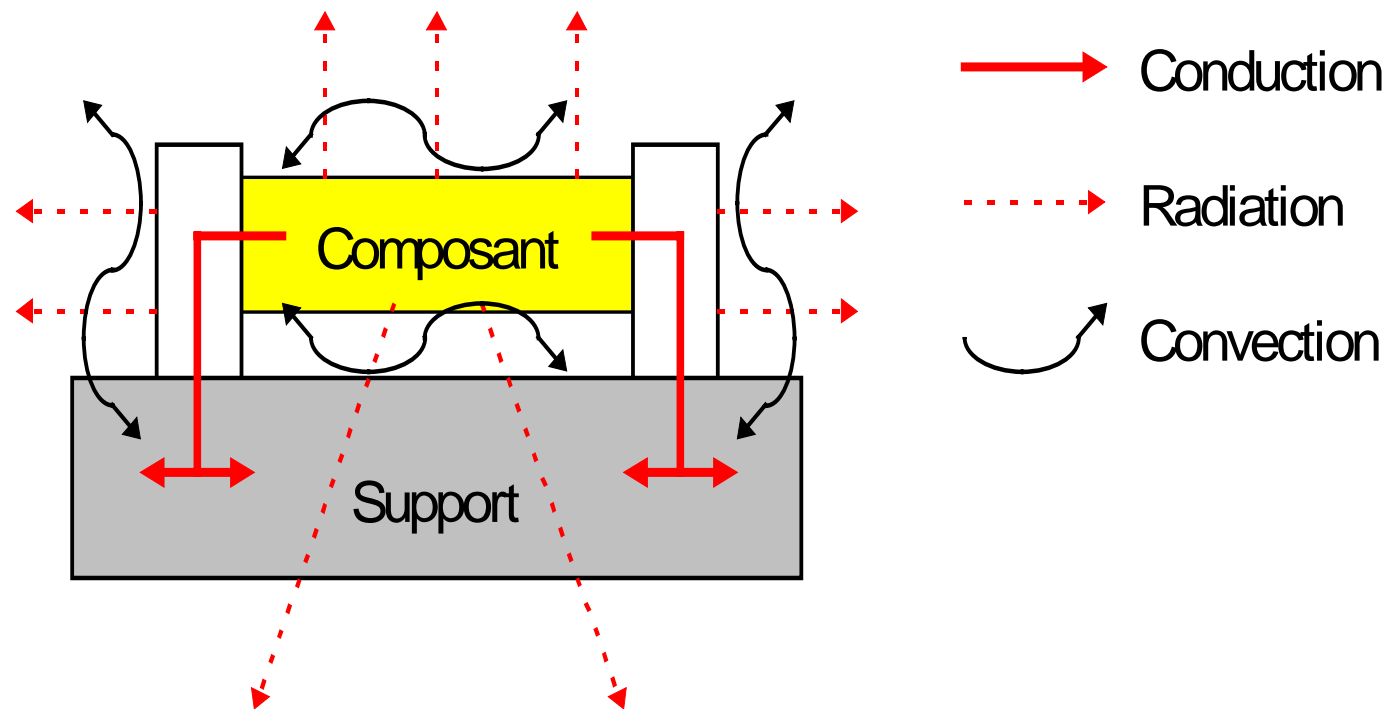
Estimations:

- ↳ Résistances thermiques du boîtier (RJA, RJB).
- ↳ Résistances thermiques liées au support.
- ↳ Température de jonction.
- ↳ Puissance dissipée par un package (efficacité).
- ↳ Distribution thermique sur le support:
Distance critique entre deux sources.

DIP : Analyse des Performances

Performances thermiques

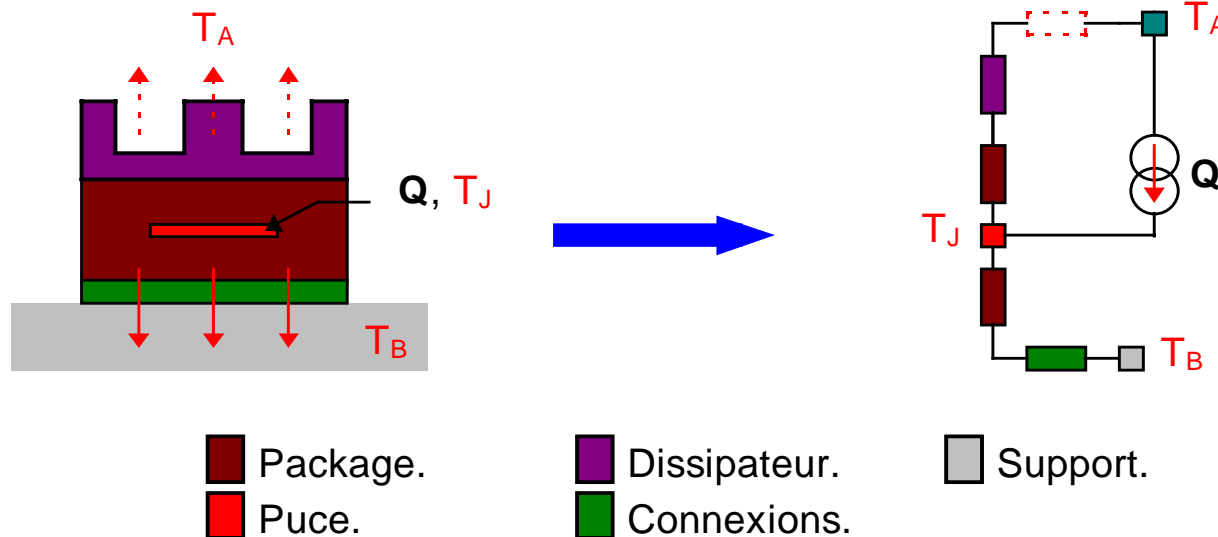
**Dissipation thermique:
3 phénomènes possibles.**



DIP : Analyse des Performances

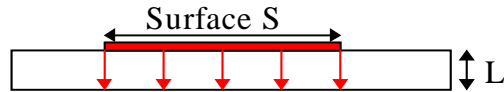
Performances thermiques

Modèle thermique = Ensemble de résistances.



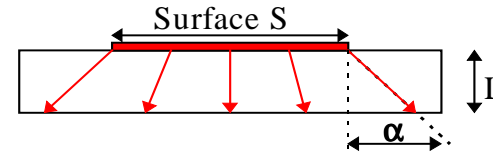
Résistances thermiques: Relations fondamentales.

Modèle 1D



$$R = \frac{L}{K \cdot S}$$

K: Conductivité thermique.



$$R_{th} = \frac{1}{2K \cdot (b - a)} \cdot \ln \left[\frac{b}{a} \cdot \left(\frac{a + 2L \cdot \tan \alpha}{b + 2L \cdot \tan \alpha} \right) \right]$$

$$S = b \cdot a \quad b > a$$

ou Si **a = b** alors:

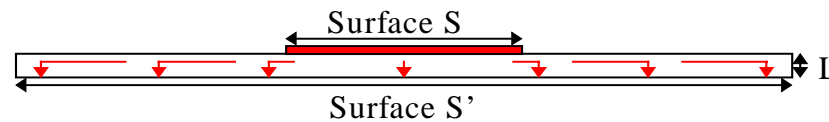
$$R_{th} = \frac{L}{K \cdot a \cdot (a + 2L \cdot \tan \alpha)}$$

Convection

$$R_{th} = \frac{1}{h \cdot S_0}$$

h: Coefficient de transfert thermique.
S₀: Surface de contact avec l'air.

Modèle 2D



$$R_{th} = \frac{1}{4\pi \cdot K \cdot L} \ln \left(\frac{S'}{S} \right)$$

Spreading Resistance

Modélisation des boîtiers SOI.

Modèle:

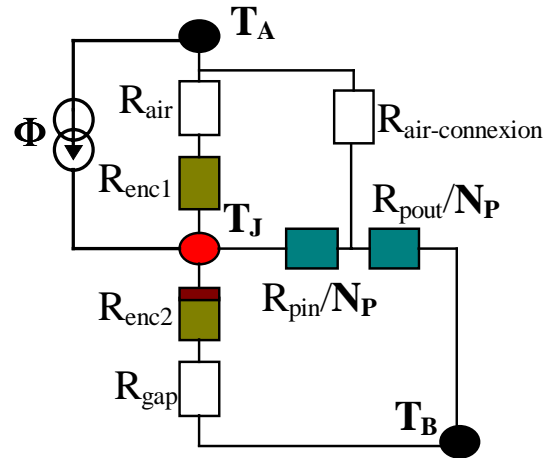
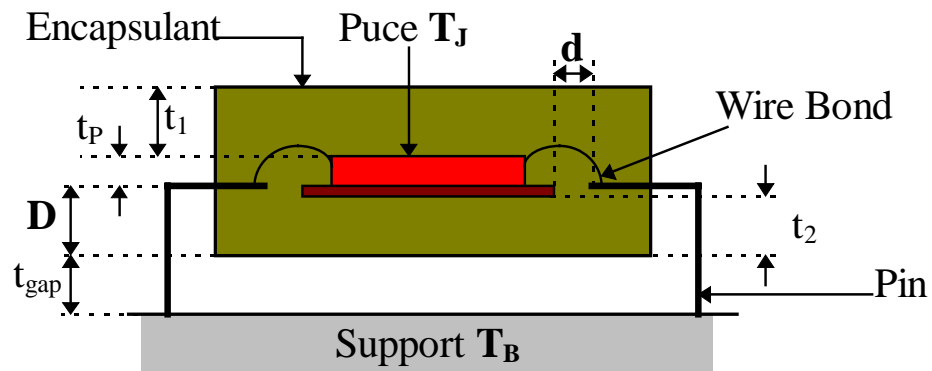


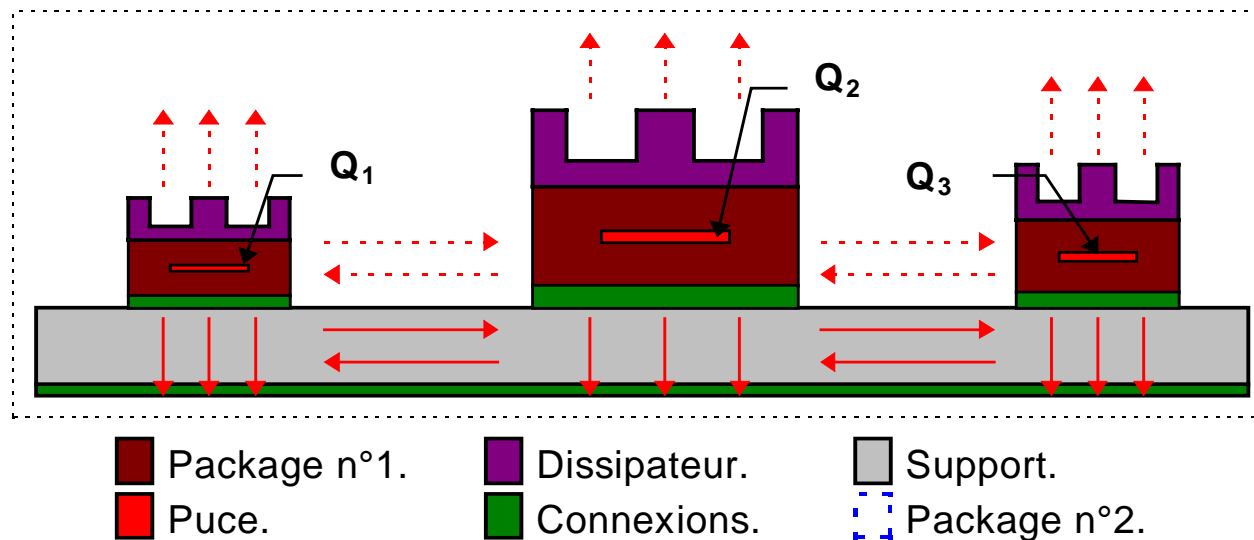
Schéma du boîtier:



DIP : Analyse des Performances

Performances thermiques

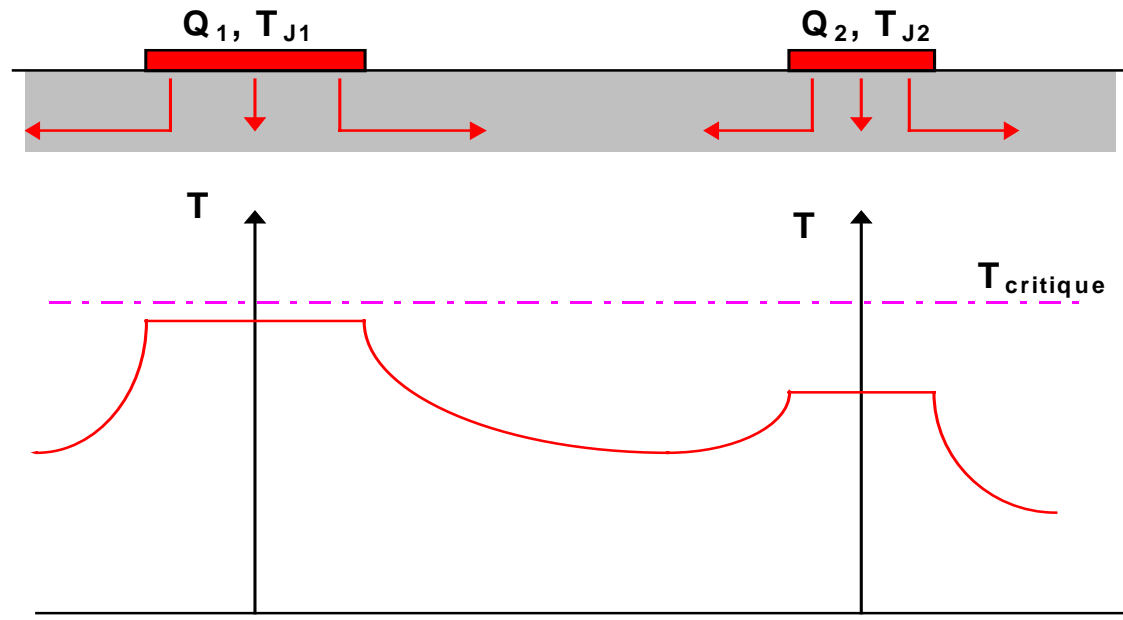
Modélisation thermique par blocs:



DIP : Analyse des Performances

Performances thermiques

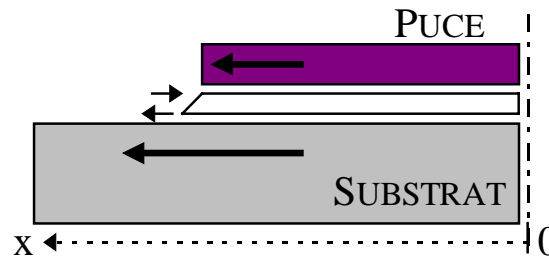
Distances critiques entre deux sources de chaleur:



DIP : Analyse des Performances

Performances thermiques

Contraintes thermiques: Stress



Discontinuité du coefficient de dilatation linéaire:

- ❶ Contraintes sur les interfaces.
- ❷ Fatigue (cycles thermiques).
- ❸ Risques de rupture élevés.

DIP : Analyse des Performances

Performances thermiques

Conclusion

- Modèles élémentaires :
 - ➔ Comparaisons des résultats avec ceux d'Ericsson (bonnes estimations de T_J).
 - ➔ Méthode de modélisation souvent rencontrée dans les publications spécialisées .

- Modélisation par blocs { composants + support } :
 - ➔ Comportement thermique d'un support.
 - ➔ Distance critique de rapprochement entre deux composants actifs.
 - ➔ Contacts chez l'ISITEM pour comparer ces résultats à des simulations numériques.

- Contraintes sur les matériaux.

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

Comment estimer la surface occupée par un ensemble de composants ?

- Loi de RENT.
- Longueur et densité d'interconnexion demandées par un composant: L_{tot} et D .
- Longueur d'interconnexion moyenne entre 2 IOs: L_{PP} .
- Surface d'interconnexion d'un ensemble de composants.

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

Loi de RENT:

$$N_S = N_{I/O} \cdot N_{cellules}^r$$

avec:

$N_{cellules}$: Nombre de cellules élémentaires dans le système.

$N_{I/O}$: Nombre moyen d'entrées/sorties appartenant à une même cellule.

N_S : Nombre d'entrées/sorties du système.

r : Constante de Rent, dépendant de l'architecture et de l'organisation interne du système.

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

Longueur totale d'interconnexion L_{tot}
nécessaire à l'assemblage d'un composant:

$$L_{tot} = N_{IO} \cdot \frac{N_f}{N_f + 1} \cdot L_{pp} = f(N_{IO}, N_f, N, r) \cdot P$$

Densité D et surface A d'interconnexion nécessaires à 1 composant:

$$D = \frac{L_{tot}}{A} = N_{IO} \cdot \frac{N_f}{N_f + 1} \cdot \frac{L_{pp}}{A} = \frac{f(N_{IO}, N_f, N, r)}{P}$$

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

Longueur moyenne d'interconnexion L_{PP} entre deux IOs:

1ère méthode:

$$L_{pp} = R.P$$

avec:

R: Coefficient dépendant du type de circuit.

P: Distance séparant deux cellules voisines.

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

Longueur moyenne d'interconnexion L_{PP} entre deux IOs:

2nde méthode:

Pour un réseau ordonné, carré, de N cellules (composants):

↳ Pour $r \neq \frac{1}{2}$

$$L_{PP} = \frac{2}{9} \cdot \frac{1 - 2^{2(r-1)}}{1 - N^{(r-1)}} \cdot P \cdot \left\{ 7 \cdot \frac{N^{(r-\frac{1}{2})} - 1}{2^{(2r-1)} - 1} - \frac{1 - N^{(r-\frac{3}{2})}}{1 - 2^{(2r-3)}} \right\}$$

↳ Pour $r = \frac{1}{2}$

$$L_{PP} = \frac{2}{9} \cdot \frac{1 - 2^{2(r-1)}}{1 - N^{(r-1)}} \cdot P \cdot \left\{ 7 \cdot \log_4(N) - \frac{1 - N^{(r-\frac{3}{2})}}{1 - 2^{(2r-3)}} \right\}$$

P: Distance séparant deux cellules voisines.

N: Nombre de cellules.

r: Coefficient de Rent.

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

Longueur moyenne d'interconnexion **L_{pp}** entre deux IOs:

3ème méthode:

$$L_{pp} = k.P.(1 + 0,1.\ln(N)).N^{r-1/2}$$

avec:

P: Distance séparant deux cellules voisines.

k: Constante comprise entre 0.6 et 1.0 (≈ 0.8 pour les PCB).

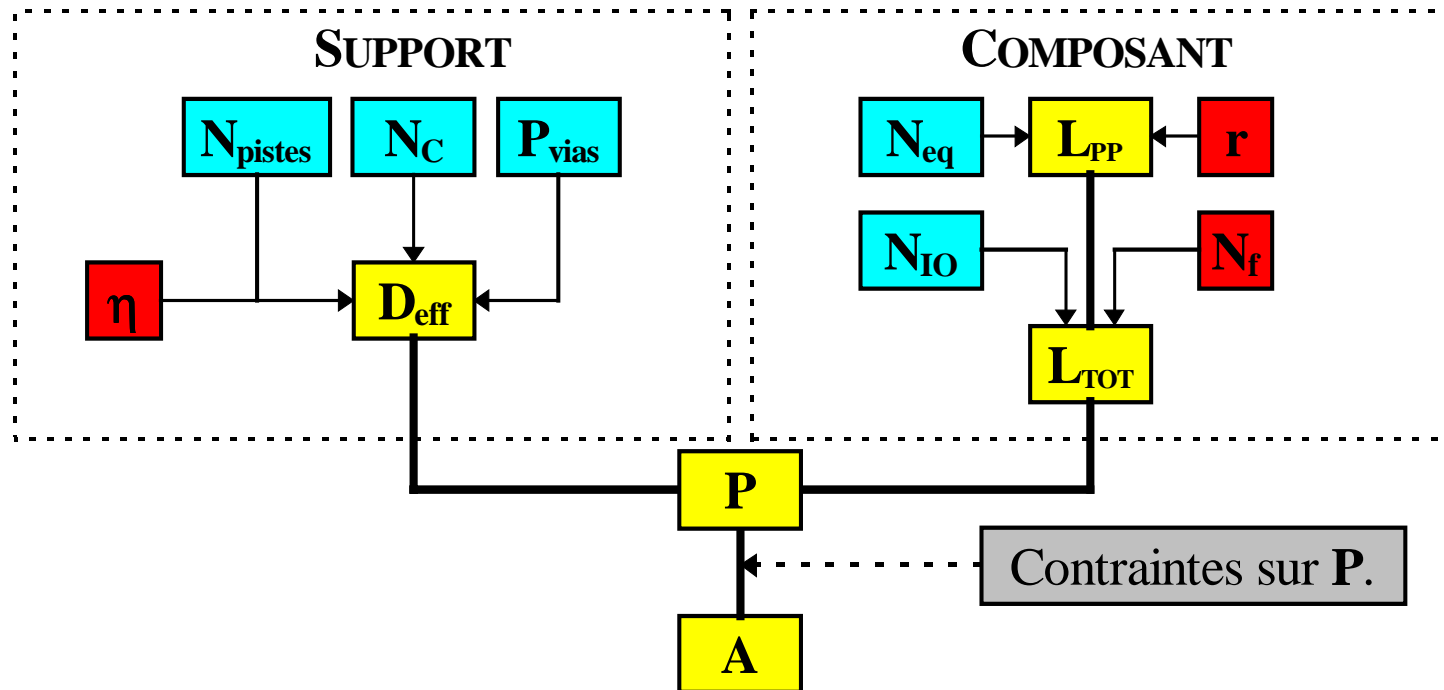
N: Nombre de cellules (composants) à interconnecter.

r: Coefficient de Rent.

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

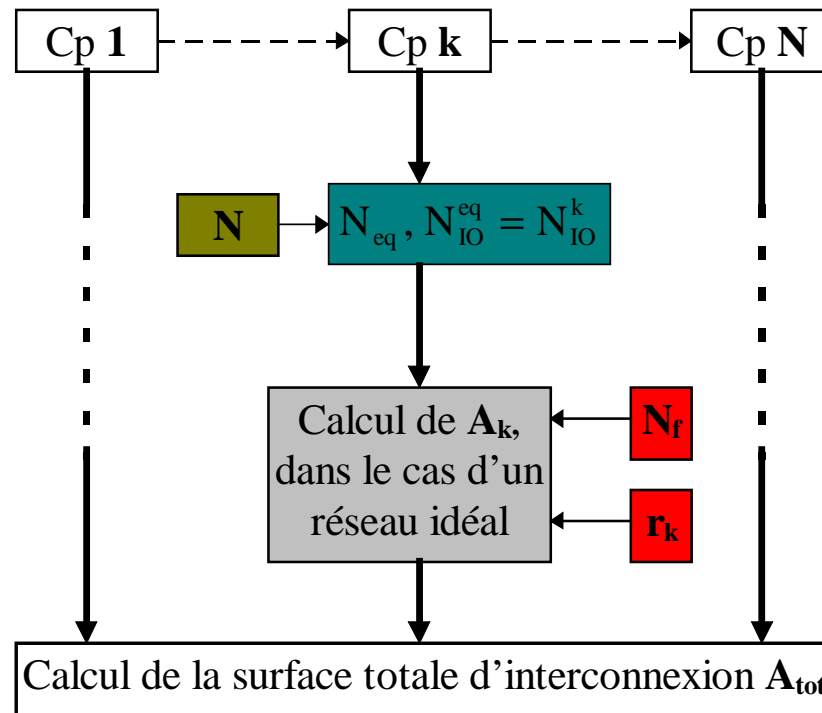
Estimation de la surface d'interconnexion A d'un composant placé dans un «réseau idéal»:



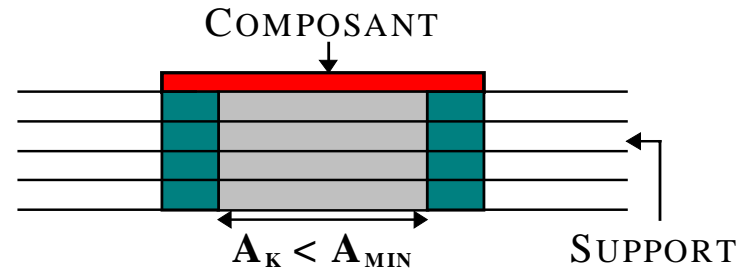
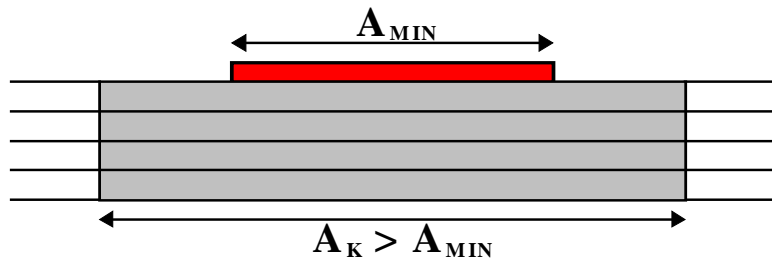
DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

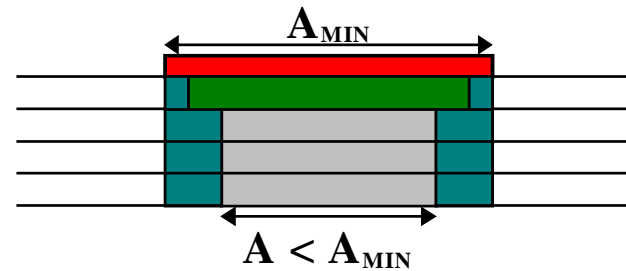
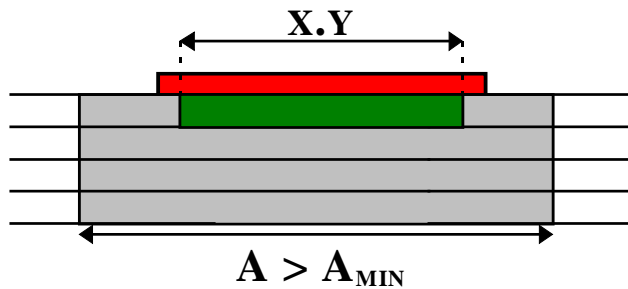
Estimation de la surface totale d'interconnexion A_{tot} ,
d'un système de N composants quelconques:



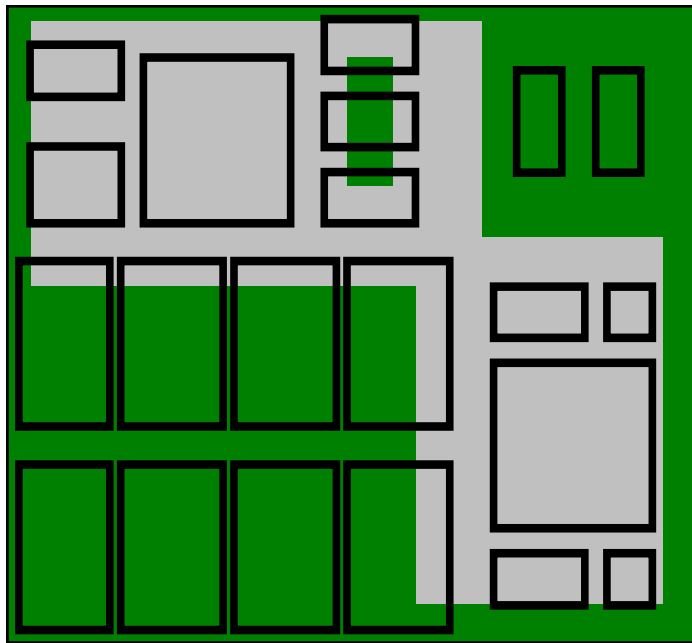
Estimation de la surface totale d'interconnexion A_{tot} , a partir des surfaces partielles A_k :



- Interconnexions nécessaires pour le composant.
- Interconnexions utilisables (libres) dans le support.
- Interconnexions inexploitées sous le composant.
- Interconnexions à densité particulière.



Hétérogénéité de la densité d'interconnexion dans le support, Notion d'estimation de surface d'interconnexion par blocs.



■ Zone partiellement exploitée:

$$D < D_{\text{eff}}$$

□ Zone totalement exploitée:

$$D = D_{\text{eff}}$$

DIP : Analyse des Performances

Performances mécaniques

Conclusion

- ① Estimation de la surface d'interconnexion d'un ensemble de composants:
 - ↳ Base théorique solide.
 - ↳ Premiers essais satisfaisants.

- ② Problèmes à résoudre:
 - ↳ Hétérogénéité de la densité d'interconnexion.

 - ↳ Prise en compte des surfaces inexploitable
(vias thermiques).

 - ↳ Interconnexions de puissance (**PW**, **GND**).

 - ↳ Systèmes tridimensionnels.

DIP : Analyse des Performances

Performances électriques

Les signaux électriques sont-ils correctement transmis par les interconnexions ?

- Données et objectifs.
- Lignes de transmission.
- Phénomènes de bruit.

DIP : Analyse des Performances

Performances électriques

Données et objectifs:

Paramètres donnés:

- ➔ Fréquence d'horloge (Bande passante).
- ➔ Dimensions des interconnexions.
- ➔ Caractéristiques des matériaux.

Estimations:

- ➔ Vitesse et temps de propagation du signal.
- ➔ Impédance caractéristique des interconnexions.
- ➔ Pertes.
- ➔ Bruit.

DIP : Analyse des Performances

Performances électriques

Ligne de transmission:

Longueur d'onde: $\lambda = \frac{c_0}{f \cdot \sqrt{\epsilon_r}}$ $t_{\text{rise}} = \frac{0.35}{f}$: Temps de montée

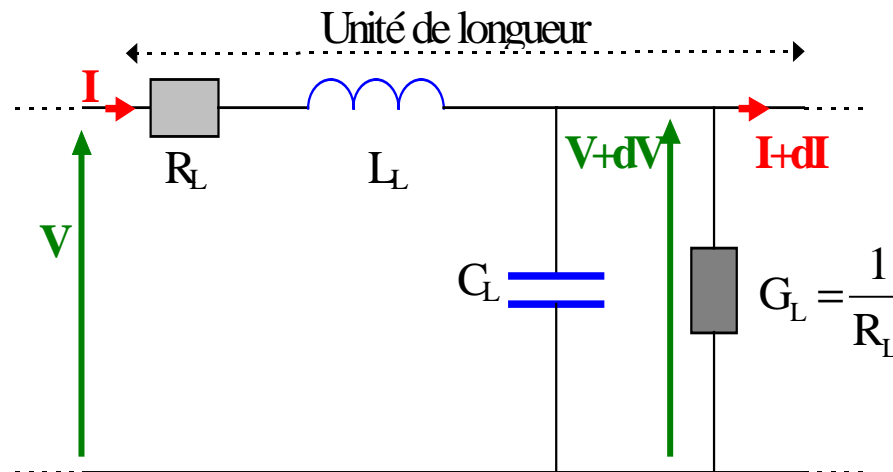
Soit **d**, la longueur maximale au delà de laquelle une ligne de propagation ne peut plus être considérée comme une équipotentielle (« lumped circuit »), mais comme une ligne de transmission. Celle-ci est environ égale au dixième de la longueur d'onde du signal.

DISTANCES CRITIQUES (DANS LE VIDE)				
f	50 Hz	1 MHz	100 MHz	1 GHz
t_{rise}	7 ms	350 ns	3.5 ns	350 ps
λ₀	6000 km	300 m	3 m	30 cm
d	600 km	30 m	30 cm	3 cm

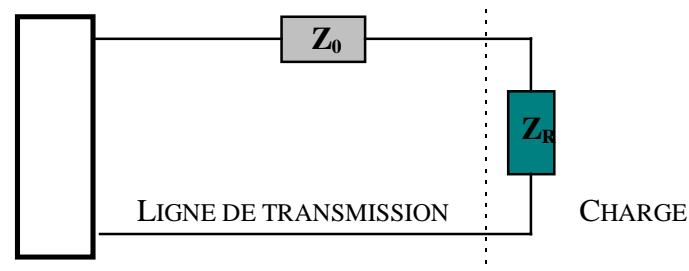
DIP : Analyse des Performances

Performances électriques

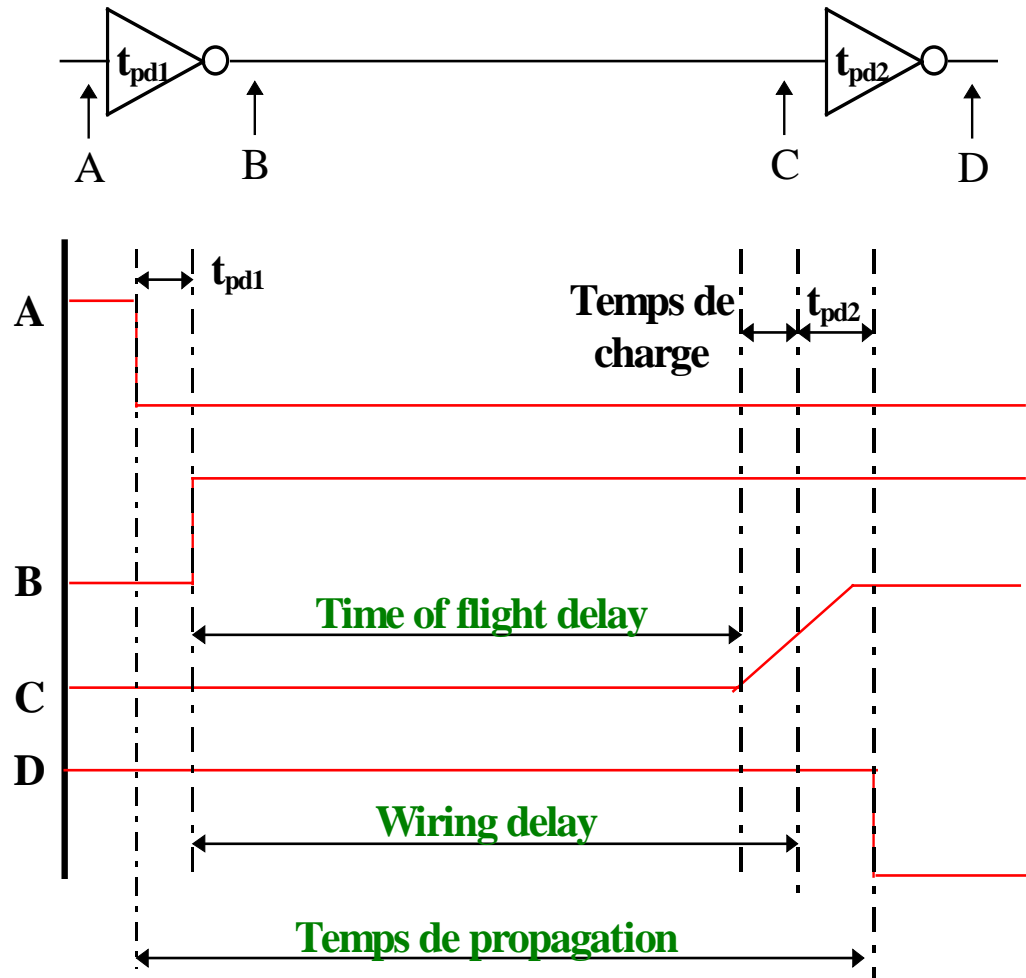
Exemple de modélisation d'une ligne de transmission:



➔ Impédance caractéristique:

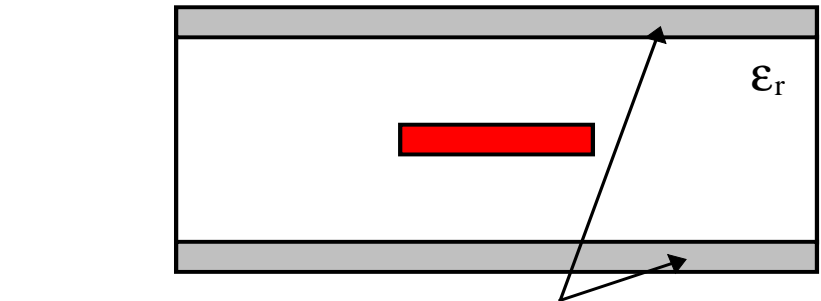
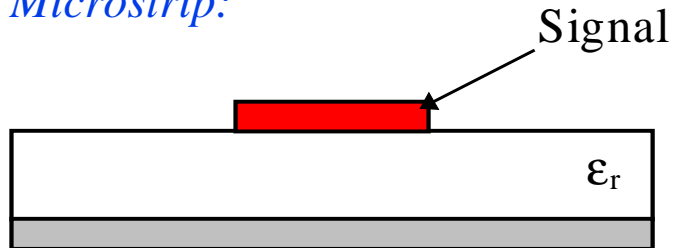


Propagation d'un signal dans une ligne de transmission:



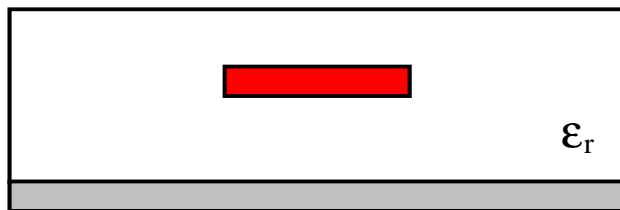
Interconnexions rencontrées dans les structures multicouches.

Microstrip:

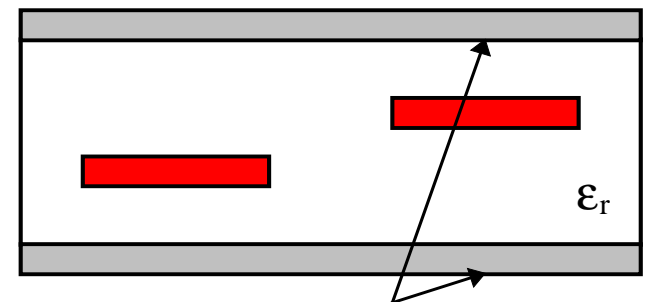


Stripline centré: Plans de masse

Embedded Microstrip:



Dual stripline:



Plans de masse

DIP : Analyse des Performances

Performances électriques

Phénomènes de bruit :

- ↳ Couplage (*Cross Talk*).
- ↳ Bruit de commutation (*Switching noise*).
- ↳ Bruit de réflexion.

DIP : Analyse des Performances

Performances électriques

Conclusion

- ① Théorie sur les performances électriques des interconnexions:
 - ➔ Propriétés sur la transmission des signaux.
 - ➔ Perturbations (pertes, bruit).

- ② Applications aux interconnexions de 1er niveau:
 - ➔ Propriétés électriques des *bond wires* et de la technologie **TAB**.

- ② Problèmes à résoudre:
 - ➔ Performances électriques à l'intérieur d'une structure multicouche.
 - ➔ Utilisation des résultats relatifs aux performances mécaniques:
Longueur d'interconnexion, densité.